

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Р. И. БОРИСОВ, В. Д. КОЗЫРЕВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических станций  
и электрических систем и сетей)

Значения токов коротких замыканий в распределительных сетях зависят от степени реактирования схем и оказывают большое влияние на их эксплуатационную надежность и качественные показатели электроснабжения.

В эксплуатационной практике токи коротких замыканий на питающих центрах после реакторов, как правило, снижаются до 10 *ка* и меньше, вместо 20 *ка* (для выключателей ВМГ-133 и ВМП-10) [1]. Некоторые приводы не соответствуют характеристикам выключателей. Так, согласно противоаварийному циркуляру МЭ [2] 61 ток отключения выключателя ВМГ-133 с приводом типа ПС-10 установлен в 15 *ка* [3].

Увеличение значений токов коротких замыканий осуществляется некоторыми способами:

- 1) шунтированием реакторов;
- 2) запараллеливанием сдвоенных реакторов;
- 3) шунтированием вольто-добавочных трансформаторов;
- 4) изъятием из схем реакторов;
- 5) составлением эксплуатационных схем электроснабжения с учетом уровней токов коротких замыканий и т. п.— дает следующие преимущества:

- 1) повышает надежность работы потребителей за счет сокращения перерывов электроснабжения и сохранения устойчивой работы электродвигателей при внешних коротких замыканиях и посадках напряжения на их зажимах;

- 2) снижает колебание напряжения при изменениях нагрузки, что улучшает качество электроэнергии, подводимой к потребителям, и уменьшает пределы регулирования напряжения;

- 3) в нормальных условиях уменьшаются активные и реактивные потери мощности, а следовательно, уменьшаются потери энергии;

- 4) капитальные затраты в сети несколько уменьшаются за счет ограничения области применения токоограничивающих и пусковых реакторов, упрощения устройств для регулирования напряжения, компенсации устройств и реостатного пуска асинхронных двигателей.

С другой стороны, увеличение токов коротких замыканий требует более мощного дорогостоящего оборудования, приводит к увеличению сечений кабелей по условию термической устойчивости, требует установки быстродействующих защит и усложняет автоматику.

Уровень значений токов коротких замыканий в распределительных сетях является одной из технико-экономических категорий, которая должна быть обоснована для разных схем и параметров электроснабжения, и может быть использован как критерий построения рациональных схем электроснабжения. Поэтому для определения оптимальных значений токов коротких замыканий представляется возможным установить связи между надежностью, показателями качества электроснабжения, потерями мощности и энергии в электрических сетях и уровнями значений токов коротких замыканий, что можно сделать с использованием математического аппарата для многофакторных задач.

При выборе технических решений по определению оптимальных значений токов коротких замыканий в распределительных сетях 6—20 кВ изменением степени реактирования воспользуемся приведенными расчетными затратами  $Z_p$ :

$$Z_p = p_n K + I_r + Y, \quad (1)$$

где

$K$  — капитальные вложения варианта электроснабжения, тыс. руб.;

$I_r$  — годовые издержки, тыс. руб.;

$Y$  — народнохозяйственный ущерб, тыс. руб.

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3, \quad (2)$$

где

$Y_1$  — ущерб, вызванный перерывами электроснабжения потребителей;

$Y_2$  — ущерб при нарушении устойчивости нагрузки;

$Y_3$  — ущерб от отклонений напряжения у потребителей.

Надежность электроснабжения потребителей характеризуется составляющими народнохозяйственного ущерба:  $Y_1$  и  $Y_2$ .

$$Y_1 = y_0 \mathcal{E}_r, \quad (3)$$

где

$y_0$  — удельный ущерб от перерывов электроснабжения, руб./квт-ч.;

$\mathcal{E}_r$  — недоотпущенная электроэнергия за год, квт-ч,

$$\mathcal{E}_r = h_e T_{\max} P_{\max}, \quad (4)$$

$h_e$  — вероятная длительность перерывов электроснабжения, отн. ед.;

$T_{\max}$  — время максимальной нагрузки, час;

$P_{\max}$  — максимальная нагрузка, квт.

Для каждого узла нагрузки и варианта электроснабжения определяется критическое напряжение ( $U_{кр}$ ), при котором происходит опрокидывание электродвигателей, т. е. для проверки устойчивости нагрузки воспользуемся одним из практических критериев устойчивости нагрузки:

$$\frac{dE}{dU} > 0 (U_{кр} \sim \frac{dE}{dU} = 0).$$

Для построения зависимостей  $E = f(U)$  используем статические характеристики комплексной нагрузки. Следует отметить, что определение расчетных запасов статической устойчивости по напряжению нагрузки с помощью практических критериев устойчивости обеспечивает необходимую для инженерных расчетов точность [4]. Затем определяем восстанавливающееся напряжение ( $U_B$ ) на шинах узла нагрузки после отключения короткого замыкания и срабатывания АВР. Значение  $U_B$  сравнивается с  $U_{кр}$  и выявляются условия самозапуска электродвигателей. При больших внешних сопротивлениях самозапуск всех двигателей не-

возможен, поэтому часть электродвигателей приходится отключать, что приводит к некоторому ущербу:

$$Y_2 = y_0 h'_e P_{откл} \cdot T, \quad (5)$$

где

$h'_e$  — вероятная длительность отключения электродвигателей, отн. ед.;  
 $P_{откл}$  — мощность нагрузки отключаемых электродвигателей;  
 $T = 8760$  час.

Изменение отклонений напряжения от оптимального значения у потребителей, вызванное различным реактированием, оценивается по интегральным показателям народнохозяйственного ущерба, величина которого определяется «неодинаковостью» напряжения.

$$Y_3 = k_y N, \quad (6)$$

где

$k_y$  — коэффициент ущерба по напряжению, тыс. руб./(%<sup>2</sup>);  
 $N$  — «неодинаковость» напряжения, (%<sup>2</sup>).

Критерий «неодинаковость» напряжения используется только при экономических расчетах ущерба для примерно однородных электроприемников или технологических процессов при отклонениях напряжения на зажимах электроприемников.

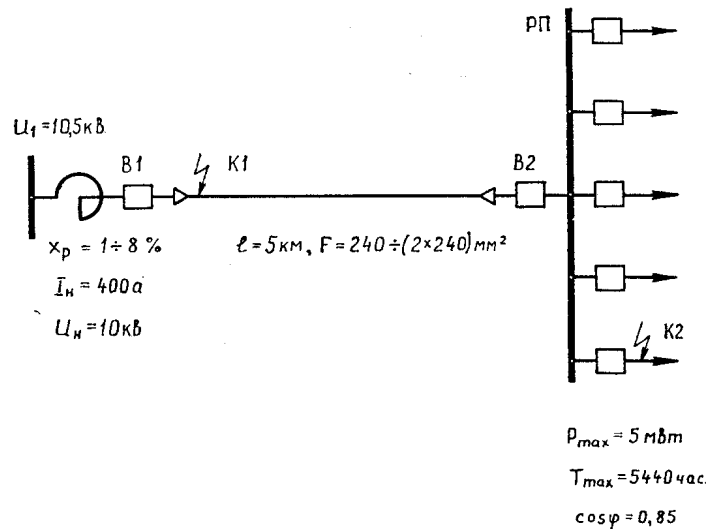


Рис. 1

Были выполнены расчеты для определения оптимальной величины тока короткого замыкания для схемы, показанной на рис. 1. Расчетные затраты определялись по формуле (1):

$$Z_p = f[C_p(x_p, I_n, U_n); C_b(U_n, I_n, I_{кз}); C_{клэп}(I_{кз}); Y].$$

Нагрузка задана графиком по продолжительности с  $T_{max} = 5440$  час,  $P_{max} = 5$  мвт,  $\cos \varphi = 0,85$ .

Сопротивление реактора изменялось от 1 до 8%. Был произведен расчет токов коротких замыканий в точках  $K_1$  и  $K_2$ .

Зависимость  $Z_p$  от  $I_{к1}$  ( $S_{к1}$ ) показана на рис. 2. Минимум затрат получился для  $I_{к1} = 20 \text{ ка}$ , что соответствует  $x_p = 2,1 \%$  и предельному значению мощности короткого замыкания 350 мва (для напряжения 10 кв), принятому для отечественных сетей в настоящее время.

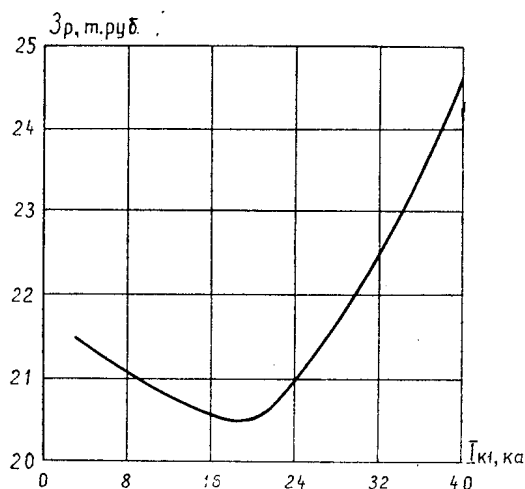


Рис. 2

Предлагаемая постановка задачи исследования приведенных расчетных затрат в функции токов коротких замыканий требует вывода таких стоимостных зависимостей:

$$C = f(I_{кз}, P_n), \quad (7)$$

где

$C$  и  $P_n$  — расчетная стоимость (тыс. руб.) и номинальные параметры используемого электрического оборудования.

Дальнейшие исследования показывают, что уровень значений токов коротких замыканий может быть использован как критерий рационального построения схем электрических сетей, используя при этом метод базовой точки в технико-экономических расчетах. Представляется возможным использовать алгоритм выбора оптимальной конфигурации, который позволяет, варьируя параметр схемы  $k$ , которым может служить мощность короткого замыкания, найти ряд схем электроснабжения, в числе которых будет вариант с наименьшими приведенными затратами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Сыромятников. К вопросу о целесообразных значениях токов коротких замыканий в распределительных сетях. «Электричество», 1966, № 1.
2. Р. И. Борисов, В. Д. Козырев. К вопросу о целесообразных значениях токов коротких замыканий (дискуссия по статье Сыромятникова И. А.). «Электричество», 1968, № 9.
3. Б. Н. Неклепаев. Степень ограничения токов короткого замыкания и надежность работы крупного асинхронного электропривода на подстанциях. Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1966—1967 гг., МЭИ, 1967.
4. С. А. Могышка. Исследование устойчивости промышленных узлов нагрузки. Автореферат кандидатской диссертации, Иркутск, 1960.